



45  
31.12.00  
M. F. F. F.

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 100 64 685.9

**Anmeldetag:** 22. Dezember 2000

**Anmelder/Inhaber:** Carl Zeiss, Heidenheim/DE

**Bezeichnung:** Lithographieobjektiv mit einer ersten  
Linsengruppe, bestehend ausschließlich  
aus Linsen positiver Brechkraft

**IPC:** G 02 B 13/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 5. Oktober 2001  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Brand

Lithographieobjektiv mit einer ersten Linsengruppe, bestehend ausschließlich aus Linsen positiver Brechkraft

Die Erfindung betrifft ein Projektionsobjektiv für die Mikrolithographie, das mindestens zwei Linsengruppen, die positive Brechkraft aufweisen, umfaßt.

Aus der US 5,990,926 ist ein Projektionsobjektiv für die Mikrolithographie bekannt, das drei Bäuche, also drei Linsengruppen positiver Brechkraft aufweist. Das Objektiv wird in Ausbreitungsrichtung des Lichtes betrachtet. Dabei weist die erste Linsengruppe nur positive Linsen auf, wobei die waferseitige numerische Apertur 0,6 beträgt.

Aus der US 5,969,803 sind Projektionsobjektive für die Mikrolithographie bekannt, die drei Bäuche, also drei positive Linsengruppen umfassen. Die numerische Apertur beträgt wiederum 0,6, wobei es sich um ein rein sphärisches Objektiv handelt.

Aus der EP 332 201 ist ein Objektiv für die Mikrolithographie bekannt, bei dem zur Verbesserung der Abbildungsqualität waferseitig die letzten beiden Linsen jeweils eine asphärische Linsenoberfläche aufweisen und wobei die asphärischen Linsenoberflächen zueinander gewandt angeordnet sind.

Die aus dieser Schrift bekannten Projektionssysteme sind für die Photolithographie vorgesehen und weisen dementsprechend eine geringe Anzahl an Linsen auf. Die damit erreichbare Abbildungsqualität entspricht nicht den Anforderungen, die an Projektionssysteme für die Mikrolithographie gestellt werden. Insbesondere ist die numerische Apertur, die mittels dieses Objektives bereitgestellt werden kann, nur 0,45.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Projektionsobjektiv für die Mikrolithographie bereitzustellen, das eine hohe numerische Apertur sowie sehr gute Abbildungsqualitäten aufweist.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale der Patentansprüche 1 gelöst.

Durch die Maßnahme, eine erste Linsengruppe derart auszugestalten, daß diese Linsengruppe nur aus Linsen positiver Brechkraft besteht und die Anzahl von Linsen positiver Brechkraft der ersten Linsengruppe kleiner ist, als die Anzahl der positiven Linsen, die vor der Blende der weiteren Linsengruppe positiver Brechkraft angeordnet sind, wird ein Projektionsobjektiv bereitgestellt, das eine besonders hohe numerische Apertur bei geringer Baulänge aufweist.

Durch das Vorsehen der ersten Linsengruppe, die nur aus Linsen positiver Brechkraft besteht, wird im Eingangsbereich des Objektivs eine Aufweitung des Eingangsstrahls vermieden. Aufgrund dieser Maßnahme kann diese erste Linsengruppe sehr schlank, d.h. die Linsen haben einen kleinen Durchmesser, ausgestaltet werden. Dadurch wird zum einen weniger Material in der ersten Linsengruppe benötigt, zum anderen wird der von dieser Linsengruppe beanspruchte Bauraum reduziert, der für eine Erhöhung der numerischen Apertur durch Vorsehen weiterer positiver Linsen vor der Blende verwendet werden kann.

Bei einer besonders schlank ausgestalteten ersten Linsengruppe ist es aufgrund des Bauraumgewinnes durch eine geringfügige Vergrößerung der nachfolgenden Linsengruppen positiver Brechkraft möglich vermehrt die Petzval-Korrektur in diese nachfolgenden Linsengruppen positiver Brechkraft hinein zu verlagern. Einen besonders großen Beitrag zur Petzval-Korrektur liefert die positive Linsengruppe, in der die Blende angeordnet ist, in Verbindung mit der starken Strahl-Einengung vor dieser Gruppe durch eine starke negative Brechkraft.

Vorzugsweise ist der Durchmesser der Linsen der ersten Linsengruppe kleiner als das 1,3-fache des Objektfeldes.

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, in der ersten Linsengruppe mindestens eine Linse mit einer asphärischen Oberfläche zu versehen, die zur Verbesserung der Abbildungsqualität des Objektivs beiträgt.

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, asphärische Linsenoberflächen in der ersten Linsengruppe vorzusehen, die um mehr als 300  $\mu\text{m}$  gegenüber der am besten passenden sphärischen Linsenoberfläche abweichen. Insbesondere hat sich die Anordnung einer derartigen Asphäre auf der objektseitigen Linsenoberfläche der ersten Linse der Linsenanordnung als vorteilhaft herausgestellt. Diese starken Asphärizitäten dicht hinter dem Reticle sind notwendig und besonders effektiv, um die feldabhängigen Aberration zu korrigieren. Die Größe der Asphärizität hängt von den Bündelquerschnitten und der Eingangsapertur, die stets geringer ist als die Ausgangsapertur, ab. Obwohl die Abweichung zur Sphäre groß ist, erzeugt eine einfache Asphärenform den günstigsten Beitrag zur Gesamtbildfehlerkorrektur. In Folge der einfachen Asphärenform bleibt diese Asphärenform dennoch sehr gut fertigbar.

Weitere vorteilhafte Maßnahmen sind in weiteren Unteransprüchen beschrieben.

Anhand einiger Ausführungsbeispiele wird die Erfindung näher erläutert.

Es zeigt:

- Figur 1: Schematischer Aufbau einer Projektionsbelichtungsanlage;
- Figur 2: Projektionsobjektiv für 248 nm mit einer numerischen Apertur von 0,8;
- Figur 3: Projektionsobjektiv für 193 nm mit einer numerischen Apertur von 0,8;  
und
- Figur 4: Projektionsobjektiv für 248 nm mit einer numerischen Apertur von 0,8.

Anhand von Figur 1 wird zunächst der prinzipielle Aufbau einer Projektionsbelichtungsanlage beschrieben. Die Projektionsbelichtungsanlage 1, weist eine Belichtungseinrichtung 3 und Projektionsobjektiv 5 auf. Das Projektionsobjektiv 5 umfaßt eine Linsenanordnung 19 mit einer Aperturblende AP, wobei durch die Linsenanordnung 19 eine optische Achse 7 definiert wird. Verschiedene Linsenanordnungen werden nachfolgend anhand der Figuren 2 bis 3 näher erläutert. Zwischen Beleuchtungseinrichtung 3 und Projektionsobjektiv 5 ist eine Maske 9 angeordnet, die mittels eines Maskenhalters 11 im Strahlengang gehalten wird. Solche in der Mikrolithographie verwendete Masken 9 weisen eine Mikrometer-Nanometer Struktur auf, die mittels des Projektionsobjektives 5 bis zu einem Faktor von 10, insbesondere von um den Faktor 4, verkleinert auf eine Bildebene 13 abgebildet wird. In der Bildebene 13 wird ein durch einen Substrathalter 17 positionierte Substrat 15, bzw. ein Wafer, gehalten.

Die noch auflösbaren minimalen Strukturen hängen von der Wellenlänge  $\lambda$  des für die Beleuchtung verwendeten Lichtes sowie von der bildseitigen numerischen Apertur des Projektionsobjektives 5 ab, wobei die maximal erreichbare Auflösung der Projektionsbelichtungsanlage 1 mit abnehmender Wellenlänge  $\lambda$  der Beleuchtungseinrichtung 3 und mit zunehmender bildseitiger numerischer Apertur des Projektionsobjektives 5 steigt.

In Figur 2 ist ein Projektionsobjektiv für die Mikrolithographie gezeigt. Dieses Objektiv umfaßt sechs Linsengruppe.

Die erste Linsengruppe weist drei Positivlinsen L101 – L 103 auf, die alle bikonvex sind. Die letzte Linse L103 ist auf der bildseitigen Oberfläche mit einer Asphäre versehen. Durch die vor der ersten Taille vorgesehene asphärische Oberfläche ist insbesondere eine gezielte Korrektur der Koma im Bereich der Bildfeldzone möglich. Diese asphärische Linsenoberfläche hat auf die schiefe sphärische Aberration im Tangentialschnitt und im Sagittalschnitt nur einen geringen Einfluß. Dahingegen kann durch die asphärische

Linsenoberfläche nach der Taille die schiefe sagittale Aberration, insbesondere im Bereich zwischen Bildfeldzone und Bildfeldrand, korrigiert werden.

So ist das Vorsehen einer zweiten asphärischen Linsenoberfläche eine wertvolle Maßnahme, um bei erhöhter Apertur einer durch Koma begründeten Verringerung der Bildqualität entgegenzuwirken.

Die zweite Linsengruppe umfaßt vier Linsen L104 – L107. Die bildseitig angeordnete Linsenoberfläche dieser letzten Linse L107 der zweiten Linsengruppe weist eine asphärische Linsenoberfläche auf. Mittels dieser asphärischen Linsenoberfläche ist insbesondere eine Korrektur von Bildfehlern im Bereich zwischen Bildfeldzone und Bildfeldrand möglich. Insbesondere können die Bildfehler höherer Ordnung, die bei Betrachtung von Sagittalschnitten deutlich werden, korrigiert werden. Da sich diese im Sagittalschnitt ersichtlichen Bildfehler besonders schwer korrigieren lassen, ist dies ein besonders wertvoller Beitrag.

Die dritte Linsengruppe umfaßt die Linsen L108 – L111. Diese Linsengruppe weist positive Brechkraft auf. Wiederum ist die letzte, bildseitig angeordnete Linsenoberfläche der letzten Linse dieser Linsengruppe asphärisiert. Diese Asphäre wirkt sich einerseits vorteilhaft auf die Koma aus, andererseits wirkt diese Asphäre korrigierend auf die axiale und die schiefe sphärische Aberration. Die Korrektur der Aberration ist aufgrund der großen Büscheldurchmesser im Bereich dieser asphärischen Oberfläche besonders gut möglich.

Die darauffolgende Linsengruppe mit den Linsen L112 – L115 weist negative Brechkraft auf.

In der darauffolgenden Linsengruppe, die positive Brechkraft aufweist und die Linsen L116 – L123 umfaßt, ist eine Blende angeordnet. Diese Blende ist nach der Linse L119 vorgesehen, so daß vor der Blende vier Linsen positiver Brechkraft angeordnet sind. Die gute Korrektur der Bildfehler dieses Objektivs geht maßgeblich auch auf die Positivlinsen

vor der Blende zurück. Durch den großen Durchmesser dieser Linsen haben diese Linsen eine große Teilbrennweite, wodurch die Feldbelastung sinkt und eine bessere Korrektur bei einer höheren numerischen Apertur möglich ist. Unter anderem wirken sich diese positiven Linsen vor der Blende vorteilhaft auf die Koma aus. Außerdem zeichnet sich diese Linsengruppe durch eine geringe Linsenanzahl aus.

Die sechste und letzte Linsengruppe umfaßt die Linsen L124 – L127. Die genauen Daten der Linsen sind Tabelle 1 zu entnehmen. Das Bildfeld beträgt 8 x 26 mm. Bemerkenswert ist daß dieses Objektiv bei einer derart hohen numerischen Apertur nur 27 Linsen aufweist. Der erforderliche Bauraum für dieses Objektiv beträgt 1000 mm. Die genauen Linsendaten sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

**Tabelle 1**

Linsen	Radius		Dicke	Material	½ Linsendurchmesser	Brechzahl bei 248nm
0	Unendlich		20,9706	L710	61,246	0,999982
L101	1160,20105		13,5756	SIO2	66,130	1,508373
	-363,46168		0,7500	L710	66,788	0,999982
L102	256,92295		20,1184	SIO2	68,174	1,508373
	-429,93637		0,7500	L710	67,973	0,999982
L103	353,94471		15,3795	SIO2	66,245	1,508373
	-1064,34630	A	0,7500	L710	65,385	0,999982
L104	365,62225		10,0788	SIO2	62,164	1,508373
	150,28204		24,6344	L710	57,665	0,999982
L105	-160,21163		7,0000	SIO2	57,121	1,508373
	138,69010		21,4314	L710	57,066	0,999982
L106	-257,68200		7,0000	SIO2	57,709	1,508373
	280,52202		27,7747	L710	62,688	0,999982
L107	-122,86419		7,0000	SIO2	64,152	1,508373
	-524,02005	A	21,2270	L710	75,975	0,999982
L108	-334,99360		27,7619	SIO2	88,903	1,508373
	-142,00372		0,7500	L710	92,514	0,999982
L109	-1079,51219		40,8554	SIO2	109,187	1,508373
	-172,00795		0,7500	L710	111,327	0,999982
L110	438,67858		43,4000	SIO2	122,583	1,508373
	-378,94602		0,7500	L710	122,708	0,999982
L111	162,42382		51,1885	SIO2	113,015	1,508373
	-5736,26278	A	0,7500	L710	110,873	0,999982
L112	165,15494		14,7530	SIO2	92,577	1,508373

	110,95539		37,6018	L710	79,631	0,999982
L113	-2352,60464		7,0000	SIO2	78,360	1,508373
	158,84317		34,9167	L710	71,086	0,999982
L114	-168,34448		7,0000	SIO2	70,590	1,508373
	245,44885		39,3735	L710	71,824	0,999982
L115	-113,75821		7,0000	SIO2	72,408	1,508373
	666,85880		23,5469	L710	88,173	0,999982
L116	-278,47485		16,7462	SIO2	90,415	1,508373
	-195,62311		0,7500	L710	95,097	0,999982
L117	1596621,30490		37,6629	SIO2	113,071	1,508373
	-223,02293		0,7500	L710	115,353	0,999982
L118	2651,21287		31,3744	SIO2	127,060	1,508373
	-371,06734		0,7500	L710	128,117	0,999982
L119	1313,12466		25,1961	SIO2	131,302	1,508373
	-666,16100		0,0		131,498	1,000000
	unendlich		9,5632	L710	130,856	0,999982
Blende			0,0		130,856	
L120	812,62806		22,4028	SIO2	132,498	1,508373
	-1458,91764		10,9629	L710	132,481	0,999982
L121	344,45037		42,1137	SIO2	130,307	1,508373
	-765,47811		29,1268	L710	129,380	0,999982
L122	-250,24553		7,0000	SIO2	127,451	1,508373
	-632,30447		15,5964	L710	127,304	0,999982
L123	-398,61314		20,5840	SIO2	126,393	1,508373
	-242,62300		1,2010	L710	126,606	0,999982
L124	143,95358		37,1050	SIO2	103,455	1,508373
	419,96225		0,8946	L710	100,698	0,999982
L125	120,37736		30,9217	SIO2	85,039	1,508373
	263,87928		14,8885	L710	79,055	0,999982
L126	1886,79345		7,6305	SIO2	74,319	1,508373
	277,58693		3,7474	L710	65,935	0,999982
L127	144,27214		50,1938	SIO2	58,929	1,508373
	423,41846		15,0000	L710	32,250	0,999982
0	unendlich		0,0001	L710	13,602 *	,999982

L710 ist Luft bei 950mbar.

Asphäre L 103:

EX=0

C1= -0.10457918\*10<sup>-6</sup>

C2= 0,37706931\*10<sup>-11</sup>

C3= 0,61848526\*10<sup>-16</sup>

C4= -0,13820933\*10<sup>-19</sup>

C5= 0,36532387\*10<sup>-24</sup>

Asphäre L107:

EX= 0,4532178\*10<sup>2</sup>

C1= 0,19386780\*10<sup>-7</sup>

C2= - 0,22407622\*10<sup>-11</sup>

C3= - 0,42016344\*10<sup>-15</sup>

C4= 0,45154959\*10<sup>-19</sup>

C5= - 0,19814724\*10<sup>-23</sup>



$$C6 = -0,11262277 \cdot 10^{-28}$$

$$C6 = -0,43279363 \cdot 10^{-28}$$

AsphäreL111:

$$EX = 0$$

$$C1 = 0,57428624 \cdot 10^{-8}$$

$$C2 = 0,22697489 \cdot 10^{-12}$$

$$C3 = -0,71160755 \cdot 10^{-18}$$

$$C4 = -0,72410634 \cdot 10^{-21}$$

$$C5 = 0,32264998 \cdot 10^{-25},$$

$$C6 = -0,55715555 \cdot 10^{-30}$$

Die asphärischen Flächen werden durch die Gleichung:

$$P(h) = \frac{\delta \cdot h \cdot h}{1 + \sqrt{1 - (1 - EX) \cdot \delta \cdot \delta \cdot h \cdot h}} + C_1 h^4 + \dots + C_n h^{2n+2} \quad \delta = 1/R$$

beschrieben, wobei P die Pfeilhöhe als Funktion des Radius h (Höhe zur optischen Achse) mit den in den Tabellen angegebenen asphärischen Konstanten  $C_1$  bis  $C_n$  ist. R ist der in den Tabellen angegebene Scheitelradius.

In Figur 2 ist ein Projektionsobjektiv für die Wellenlänge 193 nm gezeigt, das eine numerische Apertur von 0,8 aufweist. Mittels diesem Objektiv ist ein Feld von 8 x 26 belichtbar, wobei der erforderliche Bauraum für dieses Objektiv 1000 mm beträgt.

Die ersten Linsengruppe weist nur zwei Positivlinsen auf, die beide bikonvex sind. Die erste Linse L201 dieser Linsengruppe G1 ist objektseitig mit einer asphärischen Linsenoberfläche versehen.

Die zweite Linsengruppe G2 umfaßt die Linsen L203 – L205, wobei die Linse L203 objektseitig mit einer asphärischen Linsenoberfläche versehen ist. Durch diese beiden in der ersten und zweiten Linsengruppe G1, G2 vorgesehenen asphärischen Linsenoberflächen der Linsen L201 und L203, die feldnah angeordnet sind, wird eine gute Büscheltrennung im Eingangsbereich des Objektives erreicht. Die Anordnung der asphärischen Linsenoberflächen auf der dem Objekt zugewandten Seite hat den Vorteil, daß die eine asphärische Linsenoberfläche aufweisenden Linsen mit der sphärischen Linsenoberfläche auf einer Linsenfassung aufliegen. Damit kann ein gutes Anliegen auf der Linsenfassung mit der sphärischen Linsenoberfläche wesentlich leichter gewährleistet werden.

Die dritte Linsengruppe G3 umfaßt die Linsen L206 – L210. Diese Linsengruppe weist positive Brechkraft auf, wobei die beiden Linsen L208 und L209 zwei zueinander stark gekrümmte Oberflächen aufweisen. Die letzte Linse L210 dieser Linsengruppe weist bildseitig eine asphärische Linsenoberfläche auf. Mittels dieser asphärischen Linsenoberfläche ist eine gute Komakorrektur durchführbar. Weiterhin ist eine Korrektur der axialen und schiefen sphärischen Aberration aufgrund der großen Büscheldurchmesser in diesem Bereich besonders gezielt möglich.

Die vierte Linsengruppe weist die L211 – L214 auf. Diese Linsengruppe weist insgesamt negative Brechkraft auf. In der darauffolgenden fünften Linsengruppe G5, die die Linsen L215 – L220 umfaßt, ist die Blende nach der Linse L217 angeordnet. Diese Linsengruppe weist drei Positivlinsen auf, wobei die letzte Linse vor der Blende besonders dick

ausgestaltet ist. Die letzte Linsengruppe G6 umfaßt die Linsen L221 – L225, wobei die Linse L224 besonders dick ausgestaltet ist. Durch diese Linse wird eine starke sphärische Überkorrektur erreicht.

Die genauen Linsendaten sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

**Tabelle 2**

Linse	Radius		Dicke	Material	½ Linsendurchmesser	Brechzahl bei 193nm
0	Unendl.		32,7500	L710	61,249	0,999982
L201	469,70813	A	14,5480	SIO2	62,591	1,560289
	-20081,10295		5,1612	HE	63,071	0,999712
L202	354,86345		18,8041	SIO2	63,983	1,560289
	-334,15750		9,4004	HE	63,889	0,999712
L203	381,44025	A	28,0599	SIO2	61,107	1,560289
	140,16853		27,1615	HE	55,898	0,999712
L204	-149,89590		23,2652	SIO2	55,910	1,560289
	229,41466		33,1065	HE	62,024	0,999712
L205	-105,40274		7,0000	SIO2	63,462	1,560289
	-336,55620		16,9549	HE	74,238	0,999712
L206	-165,03805		10,7419	SIO2	78,416	1,560289
	-147,21753		0,7575	HE	82,164	0,999712
L207	-314,39712		27,7710	SIO2	90,707	1,560289
	-145,41305		0,7500	HE	94,176	0,999712
L208	-50326,68803		38,7705	SIO2	107,592	1,560289
	-211,33124		0,7500	HE	109,537	0,999712
L209	184,32395		41,8364	SIO2	112,438	1,560289
	1282,45923		0,7500	HE	110,470	0,999712
L210	153,97703		35,8150	SIO2	99,821	1,560289
	538,04124	A	8,4636	HE	95,507	0,999712
L211	180,72102		7,8641	SIO2	82,558	1,560289
	116,94830		38,5761	HE	73,768	0,999712
L212	-292,06054		7,0000	SIO2	71,989	1,560289
	121,89815		26,8278	HE	65,096	0,999712
L213	-416,86096		7,0000	SIO2	65,191	1,560289
	320,06306		34,0097	HE	66,681	0,999712
L214	-106,74033		7,1599	SIO2	67,439	1,560289
	842,66128		12,4130	HE	82,767	0,999712
L215	-531,44217		35,2270	SIO2	84,311	1,560289
	-173,85357		0,7500	HE	93,111	0,999712
L216	5293,05144		34,6817	SIO2	109,462	1,560289
	-359,30358		5,8421	HE	114,271	0,999712

L217	1423,10335		73,8658	SIO2	123,709	1,560289
	-302,64507		11,7059	HE	130,054	0,999712
	unendlich		-4,1059	HE	129,751	0,999712
	unendlich		0,0000		129,751	
L218	644,68375		29,3314	SIO2	130,947	1,560289
	-1224,04524		0,7500	HE	130,998	0,999712
L219	324,02485		28,7950	SIO2	129,211	1,560289
	1275,35626		44,6599	HE	127,668	0,999712
L220	-246,29714		25,7695	SIO2	126,964	1,560289
	-260,21284		0,7500	HE	129,065	0,999712
L221	265,62632		25,9894	SIO2	115,965	1,560289
	689,74229		1,8638	HE	113,297	0,999712
L222	148,08236		25,7315	SIO2	100,768	1,560289
	256,32650		14,8743	HE	97,685	0,999712
L223	130,15491		28,8792	SIO2	81,739	1,560289
	554,81058		6,6463	HE	77,855	0,999712
L224	unendlich		67,6214	CAF2HL	76,291	1,501436
	unendlich		0,9000	HE	33,437	0,999712
L225	unendlich		4,0000	SIO2	32,220	1,560289
0'	unendlich			L710	29,816	0,999982

L710 ist Luft bei 950mbar.

Asphäre L201:

EX=0

$$C1 = 0,98184588 \cdot 10^{-7}$$

$$C2 = -0,34154428 \cdot 10^{-11}$$

$$C3 = 0,15764865 \cdot 10^{-15}$$

$$C4 = 0,22232520 \cdot 10^{-19}$$

$$C5 = -0,79813714 \cdot 10^{-23},$$

$$C6 = 0,71685766 \cdot 10^{-27}$$

Asphäre L210:

EX=0

$$C1 = 0,20181058 \cdot 10^{-7}$$

$$C2 = -0,73832637 \cdot 10^{-12}$$

$$C3 = 0,32441071 \cdot 10^{-17}$$

$$C4 = -0,10806428 \cdot 10^{-21}$$

$$C5 = -0,48624119 \cdot 10^{-25},$$

Asphäre L203:

EX=0

$$C1 = 0,26561042 \cdot 10^{-7}$$

$$C2 = 0,78262804 \cdot 10^{-12}$$

$$C3 = -0,24383904 \cdot 10^{-15}$$

$$C4 = -0,24860738 \cdot 10^{-19}$$

$$C5 = 0,82092885 \cdot 10^{-23}$$

$$C6 = -0,85904366 \cdot 10^{-27}$$

$$C6 = 0,10718490 \cdot 10^{-2}$$

In Figur 4 ist eine weitere für die Wellenlänge 248 nm ausgelegte Linsenanordnung 19 gezeigt. Diese Linsenanordnung umfaßt 25 Linsen, die in 6 Linsengruppen einteilbar sind. Die Baulänge dieser Linsenanordnung von Objektebene 0 bis Bildebene 0' beträgt 1000 mm. Die numerische Apertur dieser Linsenanordnung beträgt bildseitig 0,8.

Die erste Linsengruppe G1 weist zwei positive, bikonvexe Linsen L301 und L302 auf. Die Linse L301 ist objektseitig mit einer asphärischen Linsenoberfläche versehen.

Die zweite Linsengruppe G2, die negative Brechkraft aufweist, umfaßt die Linsen L303 - L305. Die Linse L303 ist objektseitig mit einer asphärischen Linsenoberfläche versehen. Durch diese beiden asphärischen Linsenoberflächen der Linsen L301 und L303 ist eine gute Korrektur von Feldaberrationen möglich. Weiterhin wird durch diese feldnah angeordneten Asphären eine starke Büscheltrennung erreicht..

Die dritte Linsengruppe G3 umfaßt die Linsen L306 – L310 und weist positive Brechkraft auf. Die Linse L310 ist bildseitig mit einer asphärischen Linsenoberfläche versehen. Mittels dieser asphärischen Linsenoberfläche ist insbesondere eine gute Korrektur von Koma und der axialen und schiefen sphärischen Aberration möglich. Eine vermittelnde Korrektur zwischen axialen und schiefen sphärischen Aberration ist insbesondere aufgrund großer Büscheldurchmesser, die aber immer noch nennenswert unter den freien Linsendurchmessern liegen, besonders gut möglich.

Die vierte Linsengruppe G4 besteht aus den Linsen L311 – L314 und weist negative Brechkraft auf.

Die fünfte Linsengruppe G5 umfaßt die Linsen L315 – L320 und weist insgesamt positive Brechkraft auf. Nach der Linse L317 ist eine Blende AP angeordnet. Durch Vorsehen des freien Luftraumes zwischen L317 und L318 ist es möglich, eine Schiebeblende zwischen diesen beiden Linsen anzuordnen.

Die sechste Linsengruppe G6 umfaßt die Linsen L321 – L325. Diese Linsengruppe weist ebenfalls positive Brechkraft auf. Die Meniskenslinsen L321 – L323 sind zum Objekt durchgebogen. Diese Linsengruppe weist nur noch sammelnde Linsen auf, die eine feldunabhängig, starke sphärische Überkorrektur bewirken. Bei Objektiven mit einer hohen Apertur ist mittels solcher Sammellinsen auch eine Korrektur der sphärischen Aberration auch höherer Ordnung möglich.

Dieses Objektiv ist insbesondere durch den Einsatz der asphärischen Linsenoberflächen, sowie durch die spezielle Anordnung der Anzahl der Positivlinsen der ersten Linsengruppe und der höheren Anzahl an Positivlinsen vor der Blende besonders gut korrigiert. Die Abweichung von der Wellenfront einer idealen Kugelwelle beträgt max. 5,0 mλ bei einer Wellenlänge von 248 nm.

Vorzugsweise sind die asphärischen Linsenoberflächen auf der vorderen erhabenen Linsenfläche angeordnet, wodurch die entsprechende Linse mit ihrer sphärischen Linsenoberfläche auf der Fassungsfläche aufliegt. Damit können diese asphärischen Linsen mittels Standardfassungen gefaßt werden.

Die genauen Linsendaten sind Tabelle 3 zu entnehmen.

**TABELLE 3**

M1652a

FLAECHE	RADIEN	DICKEN	GLAESER	BRECHZAHL 248.338nm	1/2 FREIER DURCHMESSER
0	unendlich	32.750000000	L710	0.99998200	54.410
1	480.223886444AS	16.335451604	SIO2	1.50839641	62.519
2	-1314.056977504	2.406701682	L710	0.99998200	63.128
3	329.047567482	20.084334424	SIO2	1.50839641	63.870
4	-305.091682732	4.977873027	L710	0.99998200	63.737
5	383.800850809AS	34.498893572	SIO2	1.50839641	61.345
6	132.468446407	27.572735356	L710	0.99998200	54.949
7	-146.238861297	7.000000000	SIO2	1.50839641	54.908
8	202.067070373	26.902804948	L710	0.99998200	58.294
9	-124.604159239	7.000000000	SIO2	1.50839641	59.529
10	-9484.579900199	32.328722869	L710	0.99998200	69.147
11	-199.920035154	13.239699068	SIO2	1.50839641	80.852
12	-156.061108055	0.750000376	L710	0.99998200	84.387
13	-647.599685325	32.765465982	SIO2	1.50839641	96.077
14	-169.327287667	0.750000000	L710	0.99998200	99.492
15	54987.154632328	43.791248851	SIO2	1.50839641	110.237
16	-198.179168899	0.750000000	L710	0.99998200	112.094

17	179.965671297	37.961498762	SIO2	1.50839641	110.618
18	730.008903751	0.750000000	L710	0.99998200	108.526
19	155.802150060	40.190627192	SIO2	1.50839641	99.471
20	525.570694901AS	3.398727679	L710	0.99998200	93.056
21	210.625893853	10.671567855	SIO2	1.50839641	85.361
22	118.365024068	39.388505884	L710	0.99998200	74.596
23	-290.993996128	7.000000000	SIO2	1.50839641	72.941
24	153.643732808	24.440280468	L710	0.99998200	67.256
25	-364.763623225	7.000000000	SIO2	1.50839641	67.177
26	201.419421908	40.566258495	L710	0.99998200	68.276
27	-109.336657265	7.000000000	SIO2	1.50839641	69.319
28	1061.293067334	13.765515688	L710	0.99998200	84.656
29	-569.739152405	43.187833722	SIO2	1.50839641	87.749
30	-187.461049756	0.750000000	L710	0.99998200	99.718
31	1880.153525684	40.009394091	SIO2	1.50839641	117.515
32	-286.975850149	0.750000000	L710	0.99998200	120.535
33	1960.535354230	35.788625356	SIO2	1.50839641	127.909
34	-378.322213808	11.705900000	L710	0.99998200	129.065
35	unendlich	-4.105900000	L710	0.99998200	129.546
36	665.988216308	27.299895961	SIO2	1.50839641	130.708
37	-1514.956732781	0.750000000	L710	0.99998200	130.863
38	392.166724592	35.529695156	SIO2	1.50839641	130.369
39	-2215.367253951	37.377386813	L710	0.99998200	129.155
40	-235.632993037	38.989537996	SIO2	1.50839641	128.458
41	-252.020337993	0.835229633	L710	0.99998200	131.819
42	269.631401556	32.688617719	SIO2	1.50839641	118.998
43	1450.501345093	0.750000001	L710	0.99998200	116.187
44	138.077824305	29.652384517	SIO2	1.50839641	100.161
45	255.416969175	2.589243681	L710	0.99998200	96.793
46	139.090220366	30.752909421	SIO2	1.50839641	86.930
47	560.532964454	8.142484947	L710	0.99998200	82.293
48	unendlich	73.619847203	SIO2	1.50839641	79.524
49	unendlich	0.900000000	L710	0.99998200	33.378
50	unendlich	4.000000000	SIO2	1.50839641	32.173
51	unendlich	12.000000000	L710	0.99998200	29.666
52	unendlich				13.603

L710 ist Luft bei 950 mbar

#### ASPHAERISCHE KONSTANTEN

FLAECHE NR. 1			
EX	0.0000	C1	9.53339646e-008
C2	-3.34404782e-012	C3	1.96004118e-016
C4	8.21742864e-021	C5	-5.28631864e-024
C6	4.96925973e-028	C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000	C9	0.00000000e+000
FLAECHE NR. 5			
EX	0.0000		
C1	2.89631842e-008	C2	7.74237590e-013
C3	-2.72916513e-016	C4	-8.20523716e-021
C5	4.42916563e-024	C6	-5.10235191e-028
C7	0.00000000e+000	C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000		
FLAECHE NR. 20			

Ex	0.0000
C1	1.99502967e-008
C2	-7.64732709e-013
C3	3.50640997e-018
C4	-2.76255251e-022
C5	-3.64439666e-026
C6	5.10177997e-031
C7	0.00000000e+000

Patentansprüche:

1. Projektionsobjektiv, umfassend eine erste Linsengruppe (G1) positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe (G2) negativer Brechkraft und mindestens eine weitere Linsengruppe positiver Brechkraft, in der eine Blende angeordnet ist, und wobei die erste Linsengruppe (G1) ausschließlich aus Linsen positiver Brechkraft besteht, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der Linsen positiver Brechkraft (L101-L103; L201-L202) der ersten Linsengruppe (G1) kleiner ist als die Anzahl der Linsen positiver Brechkraft (L116-L119; L215-L217), die vor der Blende der weiteren Linsengruppe (G5) angeordnet sind.
2. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Linse der ersten Linsengruppe (G1) eine asphärische Linse (L103, L201) ist.
3. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Linsengruppe (G1) mindestens zwei Positivlinsen (L201 – L202, L101 – L103) aufweist.
4. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß alle Linsen (L201 – L202, L101 – L103) der ersten Linsengruppe (G1) bikonvex sind.
5. Projektionsobjektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Asphärizität der asphärischen Linse (L103) in der ersten Linsengruppe (G1) um mehr als 200 µm gegenüber der am besten passenden sphärischen Linsenoberfläche abweicht.
6. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv eine numerische Apertur von mindestens 0,8, vorzugsweise 0,9, aufweist.



7. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsen bzw. der 1. und 2. Linsengruppe abgesehen von der letzten Linse der zweiten Linsengruppe (G2), nahezu identischen Durchmesser aufweisen.
8. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchmesser mindestens der ersten neun Linsenoberflächen nahezu gleich groß sind und vorzugsweise weniger als das 1,3 fache betragen.
9. Projektionsobjektiv nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der annähernd gleiche Durchmesser (D1) der objektseitig angeordneten Linsen in etwa halb so groß ist wie der maximale Durchmesser (D2) der nachfolgenden Linsen (L 120, L218).
10. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der vorangegangenen Ansprüche , dadurch gekennzeichnet, daß das Projektionsobjektiv Bestandteil einer Projektionsbelichtungsanlage der Microlithographie ist, die vorzugsweise einen Excimerlaser als Lichtquelle zur Bereitstellung der für die Projektionsbelichtung benötigten Strahlung , die von kürzere Wellenlänge als 250nm ist, aufweist.
11. Verfahren zur Herstellung mikrostrukturierter Bauteile , bei dem ein mit einer lichtempfindlichen Schicht versehenes Substrat mittels einer Maske und einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem Projektionsobjektiv nach mindestens einem der vorangegangenen Ansprüche 1-9 durch ultraviolettes Laserlicht belichtet wird und gegebenenfalls nach Entwicklung der lichtempfindlichen Schicht entsprechend einem auf der Maske enthaltenen Muster strukturiert wird.

Zusammenfassung:

Lithographieobjektiv mit einer ersten Linsengruppe, bestehend ausschließlich aus Linsen positiver Brechkraft

(Fig. 2)

Projektionsobjektiv, umfassend eine erste Linsengruppe (G1) positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe (G2) negativer Brechkraft und mindestens eine weitere Linsengruppe positiver Brechkraft, in der eine Blende angeordnet ist, und wobei die erste Linsengruppe (G1) ausschließlich aus Linsen positiver Brechkraft besteht, wobei die Anzahl der Linsen positiver Brechkraft (L101-L103; L201-L202) der ersten Linsengruppe (G1) kleiner ist als die Anzahl der Linsen positiver Brechkraft (L116-L119; L215-L217), die vor der Blende der weiteren Linsengruppe (G5) angeordnet sind.

FIG. 1

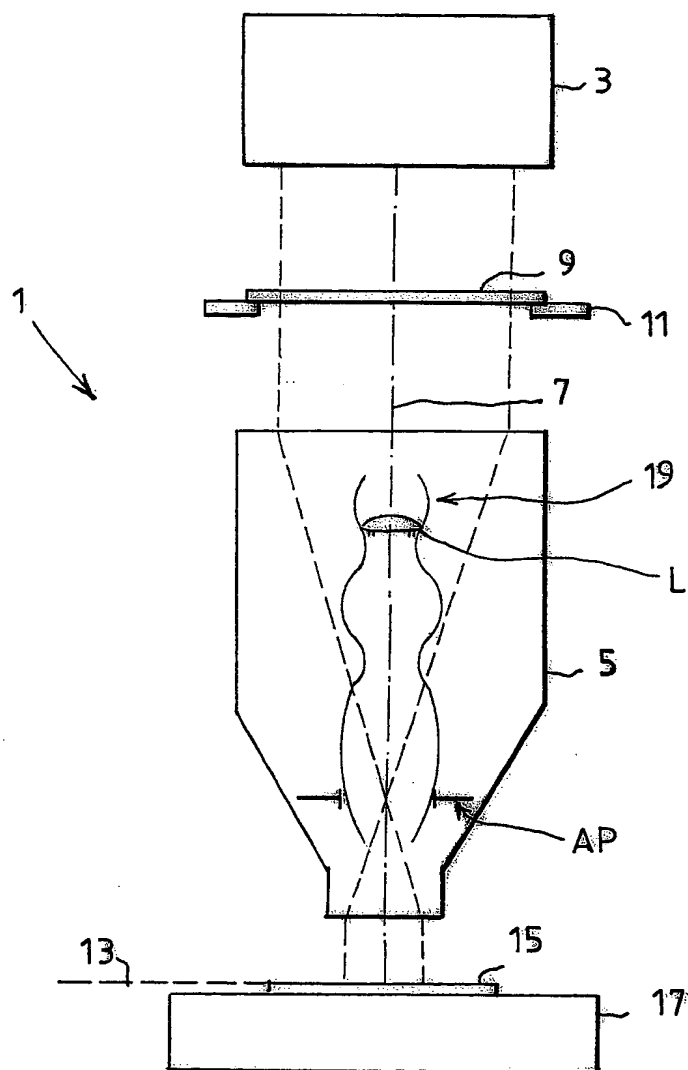


FIG. 2

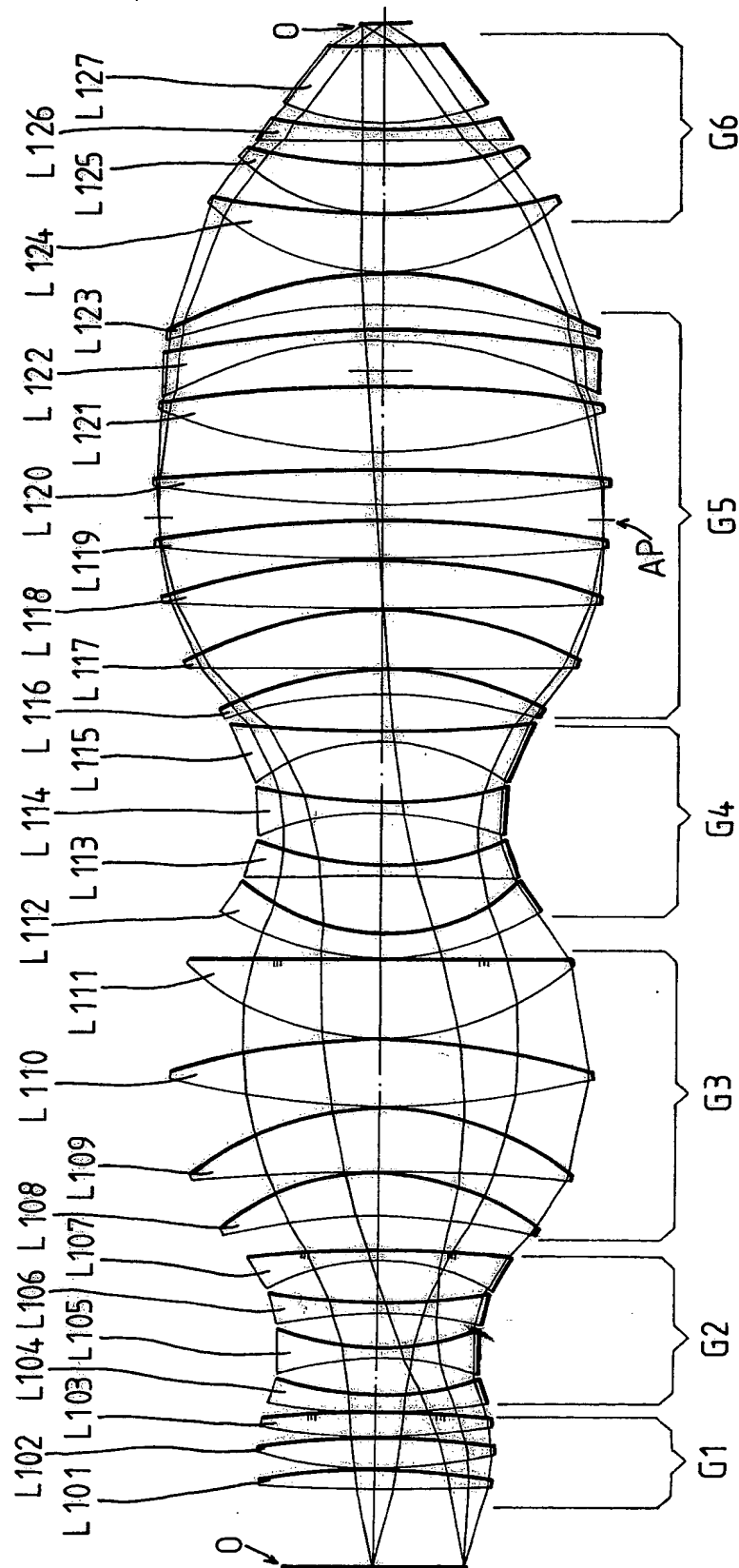
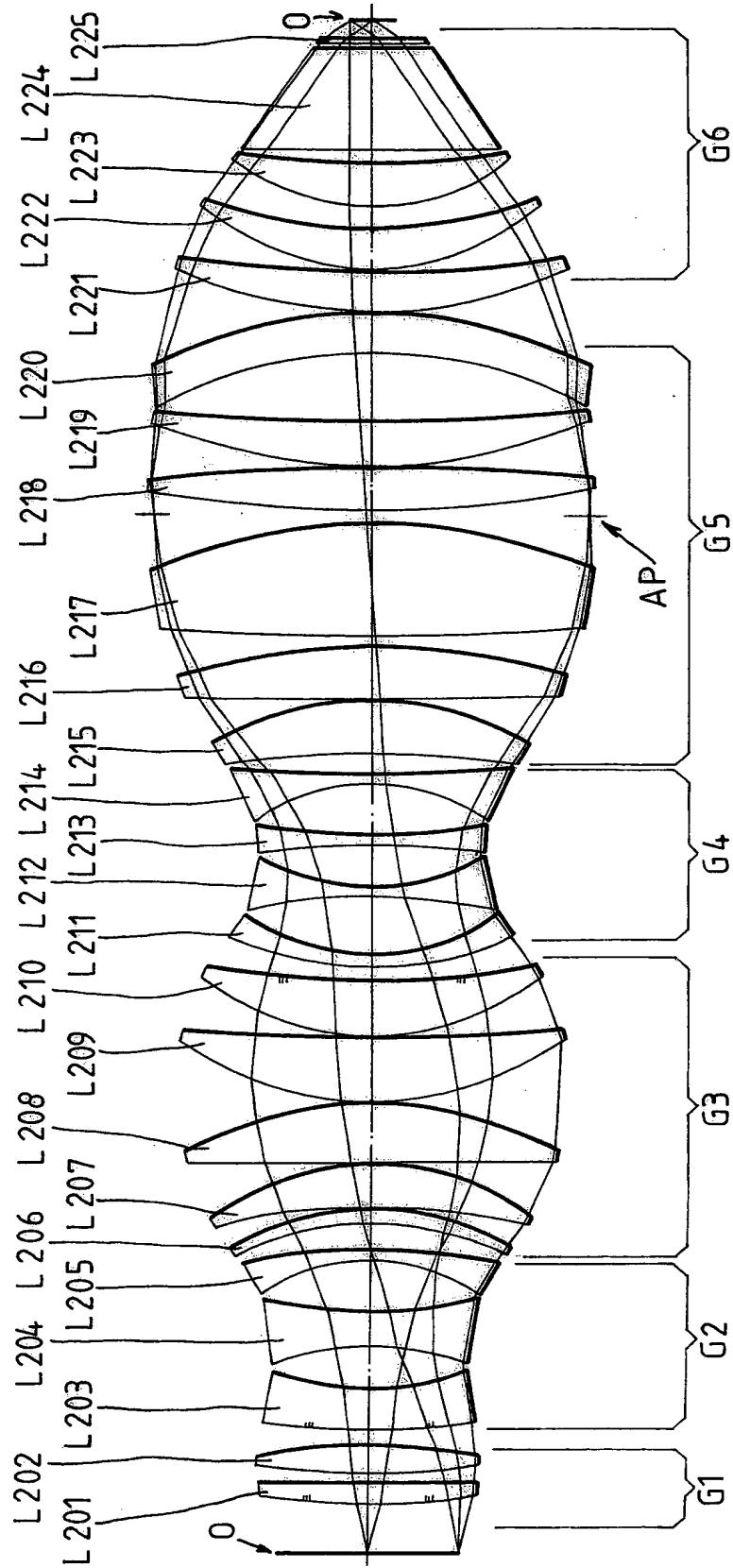


FIG. 3



2000-2001  
 2001-2002  
 2002-2003  
 2003-2004  
 2004-2005  
 2005-2006  
 2006-2007  
 2007-2008  
 2008-2009  
 2009-2010  
 2010-2011  
 2011-2012  
 2012-2013  
 2013-2014  
 2014-2015  
 2015-2016  
 2016-2017  
 2017-2018  
 2018-2019  
 2019-2020  
 2020-2021  
 2021-2022  
 2022-2023  
 2023-2024  
 2024-2025  
 2025-2026  
 2026-2027  
 2027-2028  
 2028-2029  
 2029-2030  
 2030-2031  
 2031-2032  
 2032-2033  
 2033-2034  
 2034-2035  
 2035-2036  
 2036-2037  
 2037-2038  
 2038-2039  
 2039-2040  
 2040-2041  
 2041-2042  
 2042-2043  
 2043-2044  
 2044-2045  
 2045-2046  
 2046-2047  
 2047-2048  
 2048-2049  
 2049-2050  
 2050-2051  
 2051-2052  
 2052-2053  
 2053-2054  
 2054-2055  
 2055-2056  
 2056-2057  
 2057-2058  
 2058-2059  
 2059-2060  
 2060-2061  
 2061-2062  
 2062-2063  
 2063-2064  
 2064-2065  
 2065-2066  
 2066-2067  
 2067-2068  
 2068-2069  
 2069-2070  
 2070-2071  
 2071-2072  
 2072-2073  
 2073-2074  
 2074-2075  
 2075-2076  
 2076-2077  
 2077-2078  
 2078-2079  
 2079-2080  
 2080-2081  
 2081-2082  
 2082-2083  
 2083-2084  
 2084-2085  
 2085-2086  
 2086-2087  
 2087-2088  
 2088-2089  
 2089-2090  
 2090-2091  
 2091-2092  
 2092-2093  
 2093-2094  
 2094-2095  
 2095-2096  
 2096-2097  
 2097-2098  
 2098-2099  
 2099-2100  
 2100-2101  
 2101-2102  
 2102-2103  
 2103-2104  
 2104-2105  
 2105-2106  
 2106-2107  
 2107-2108  
 2108-2109  
 2109-2110  
 2110-2111  
 2111-2112  
 2112-2113  
 2113-2114  
 2114-2115  
 2115-2116  
 2116-2117  
 2117-2118  
 2118-2119  
 2119-2120  
 2120-2121  
 2121-2122  
 2122-2123  
 2123-2124  
 2124-2125  
 2125-2126  
 2126-2127  
 2127-2128  
 2128-2129  
 2129-2130  
 2130-2131  
 2131-2132  
 2132-2133  
 2133-2134  
 2134-2135  
 2135-2136  
 2136-2137  
 2137-2138  
 2138-2139  
 2139-2140  
 2140-2141  
 2141-2142  
 2142-2143  
 2143-2144  
 2144-2145  
 2145-2146  
 2146-2147  
 2147-2148  
 2148-2149  
 2149-2150  
 2150-2151  
 2151-2152  
 2152-2153  
 2153-2154  
 2154-2155  
 2155-2156  
 2156-2157  
 2157-2158  
 2158-2159  
 2159-2160  
 2160-2161  
 2161-2162  
 2162-2163  
 2163-2164  
 2164-2165  
 2165-2166  
 2166-2167  
 2167-2168  
 2168-2169  
 2169-2170  
 2170-2171  
 2171-2172  
 2172-2173  
 2173-2174  
 2174-2175  
 2175-2176  
 2176-2177  
 2177-2178  
 2178-2179  
 2179-2180  
 2180-2181  
 2181-2182  
 2182-2183  
 2183-2184  
 2184-2185  
 2185-2186  
 2186-2187  
 2187-2188  
 2188-2189  
 2189-2190  
 2190-2191  
 2191-2192  
 2192-2193  
 2193-2194  
 2194-2195  
 2195-2196  
 2196-2197  
 2197-2198  
 2198-2199  
 2199-2200  
 2200-2201  
 2201-2202  
 2202-2203  
 2203-2204  
 2204-2205  
 2205-2206  
 2206-2207  
 2207-2208  
 2208-2209  
 2209-2210  
 2210-2211  
 2211-2212  
 2212-2213  
 2213-2214  
 2214-2215  
 2215-2216  
 2216-2217  
 2217-2218  
 2218-2219  
 2219-2220  
 2220-2221  
 2221-2222  
 2222-2223  
 2223-2224  
 2224-2225  
 2225-2226  
 2226-2227  
 2227-2228  
 2228-2229  
 2229-2230  
 2230-2231  
 2231-2232  
 2232-2233  
 2233-2234  
 2234-2235  
 2235-2236  
 2236-2237  
 2237-2238  
 2238-2239  
 2239-2240  
 2240-2241  
 2241-2242  
 2242-2243  
 2243-2244  
 2244-2245  
 2245-2246  
 2246-2247  
 2247-2248  
 2248-2249  
 2249-2250  
 2250-2251  
 2251-2252  
 2252-2253  
 2253-2254  
 2254-2255  
 2255-2256  
 2256-2257  
 2257-2258  
 2258-2259  
 2259-2260  
 2260-2261  
 2261-2262  
 2262-2263  
 2263-2264  
 2264-2265  
 2265-2266  
 2266-2267  
 2267-2268  
 2268-2269  
 2269-2270  
 2270-2271  
 2271-2272  
 2272-2273  
 2273-2274  
 2274-2275  
 2275-2276  
 2276-2277  
 2277-2278  
 2278-2279  
 2279-2280  
 2280-2281  
 2281-2282  
 2282-2283  
 2283-2284  
 2284-2285  
 2285-2286  
 2286-2287  
 2287-2288  
 2288-2289  
 2289-2290  
 2290-2291  
 2291-2292  
 229